

Новая разработка: автономный отопитель на углеводородном топливе

Дорога, а в дороге МАЗ,
который по уши увяз.
В кабине — тьма, напарник третий час молчит.
Хоть бы кричал, аж зло берет:
назад пятьсот, пятьсот вперед...

В. Высоцкий. «Дорожная история»

Леонид АЛЕКСЕЕВ
Петр ШОСТАКОВСКИЙ

Автономные источники электрического питания (АИЭП) на базе термоэлектрического эффекта (эффект Зеебека) используются в различных отраслях уже свыше 70 лет. История применения начинается с «партизанского котелка», обеспечивавшего питание радиостанций во время Великой Отечественной войны. О современных АИЭП опубликован ряд материалов. Линейка мощностей, вырабатываемых современными АИЭП, перекрывает диапазон от единиц ватт до десятков киловатт. Предметом данной публикации стал автономный отопитель на углеводородном топливе со встроенным генератором электроэнергии и временем работы, не зависящим от емкости аккумуляторной батареи.

Слова из песни В. Высоцкого, приведенные в эпиграфе, касаются машин, которые перегоняли на стройки за Урал в зимнее время. С тех пор северные границы областей эксплуатации машин расширились, и актуальность эпиграфа для эксплуатации транспортных средств (ТС) с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) в суровых климатических условиях сохранилась. Дизели заводят осенью и не глушат их до весны. При этом цена топлива с учетом специфики доставки и хранения нередко возрастает во много раз. Задача надежной эксплуатации ДВС в условиях Крайнего Севера решается с помощью автономных воздушных отопителей салона и жидкостных подогревателей ДВС [10] на жидком углеводородном топливе (далее — отопитель). При этом определение «автономный» является условным, так как электрическое питание оборудования отопителя (топливный насос, помпа теплоносителя, система поджига и контроля работы) осуществляется от аккумулятора ДВС. «Автономность» значительно снижается при глубоких минусовых температурах, когда емкость аккумулятора уменьшается в разы, а после предварительной работы на отопитель у аккумулятора должен остаться запас энергии для запуска ДВС [11]. Установка дополнительного аккумулятора (аккумулятора большей емкости) задачу решает лишь отчасти и не во всех случаях.

Таким образом, получить полностью автономный обогреватель — актуальная задача, при решении которой:

- становится возможным долговременно поддерживать заданную температуру двигателя (салона) при остановках, временной стоянке, заглушив ДВС на этот период. Время работы зависит только от количества топлива в баке и расхода топлива. Так как расход топлива отопителя в несколько раз меньше, чем у действующего двигателя на холостом ходу, то время работы для поддержания тепла будет в несколько раз больше. При аварийной ситуации возможно длительное поддержание тепла в салоне, что спасет жизнь человека;
- значительное уменьшение расхода топлива и снижение загрязнения окружающей среды. Не требуется работа ДВС на холостом ходу для поддержания тепла;
- не тратится ресурс двигателя и аккумуляторной батареи для разогрева ДВС и салона, поддержания в нем тепла;
- возможно дополнительно подзарядить аккумуляторную батарею ДВС небольшим током (единицы ампер), что значительно продлит ее ресурс.

Применение таких устройств позволит значительно увеличить автономность ТС, увеличиться ресурс ДВС и аккумулятора,

улучшить экологичность ТС, снизить эксплуатационные расходы.

Для примера сравним расход топлива ДВС КамАЗ-740.31-240 на холостом ходу с отечественным жидкостным подогревателем 14ТС-10-24-С [13] (устанавливается на ДВС КамАЗ-740.31-240) и воздушным отопителем ПЛАНАР-44 Д-24 [12] (табл. 1).

Полностью автономный отопитель особо необходим при эксплуатации коммерческих транспортных средств (грузовики, вахтовки, спецтехника и т. д.) вдали от населенных пунктов в холодное время года. Он позволит при заглушенном двигателе сутками поддерживать тепло двигателя, салона при малом расходе топлива, обеспечивая одновременную зарядку аккумулятора.

При выборе способа генерации электрической энергии учитывались следующие критерии:

- встроенный генератор не должен значительно увеличивать габариты;
- технология преобразования энергии в генераторе должна быть распространенной и легко воспроизводимой;

Таблица 1. Сравнение расхода топлива

КамАЗ-740.31-240	14ТС-10-24-С	ПЛАНАР-44Д-24
4,5 л/ч	0,5–2 л/ч	0,1–0,5 л/ч

- генератор должен иметь надежность (ресурс) не ниже, чем у существующих отопителей;
- не должна нарушаться основная функция отопителя — преобразование энергии топлива в тепло для обогрева салона, двигателя;
- не должна усложняться эксплуатация отопителя, приводить к дополнительному техническому обслуживанию;
- стоимость устройства со встроенным электрогенератором по сравнению с существующими отопителями не должна значительно увеличиваться.

Было определено, что система термоэлектрической генерации энергии, использующей тепло, выделяемое при сгорании топлива в отопителе (применение термоэлектрического эффекта Зеебека) [1], наиболее полно удовлетворяет требованиям эффективности, надежности и стоимости. В отопителе для термогенератора практически идеальные условия работы. Есть мощный, от нескольких до десятков киловатт тепловой поток со штатной системой охлаждения, рассчитанной на соответствующую тепловую мощность. Дополнительной системы охлаждения для отвода тепла с холодной стороны термогенератора не требуется.

Решение широко известно, имеющее целый ряд практических применений в промышленности и быту. Проведенный патентный анализ показал, что реально работающих конструкций АИЭП отопителя по действующим патентам промышленными предприятиями не выпускается.

При всей кажущейся очевидности решения реализация рабочей конструкции, подходящей для массового производства, является непростой задачей.

Специалистами ООО «Цирит Термо» [9] разработано и реализовано несколько вариантов конструкции автономного отопителя на углеводородном топливе со встроенным генератором электроэнергии и временем работы, не зависящим от емкости аккумуляторной батареи. Изготовлены и испытаны макетные образцы на стенде. Подана заявка на патент.

Для отработки конструкции АИЭП отопителя был выбран отечественный жидкостный подогреватель «Теплостар 14ТС-10-24-С», массово устанавливаемый на грузовые автомобили с дизельным ДВС на конвейере автозаводов.

По сравнению с серийным образцом длина макета со встроенным АИЭП увеличилась на треть. Ширина и высота не изменились. Время выхода на номинальный режим генерации не превышает 8 мин с номинальной мощностью 100 Вт.

Проведенная оценка себестоимости одного АИЭП при производстве партиями 1000 штук по отношению к цене отопителя 14ТС-10-24-С, выбранного в качестве базового, составляет порядка 100%. Это позволит обеспечить

конкурентное преимущество по сравнению с импортируемыми из Германии устройствами фирм Eberspacher и Webasto.

При проектировании АИЭП [6] для системы обогрева исходными параметрами стали:

- требуемая генерируемая мощность;
- способ отведения тепловой мощности от термогенераторного модуля (ТГМ);
- температурные условия ТГМ;
- величина электрического сопротивления нагрузки.

В ходе выполнения проекта специалистами компании ЦИРИТ была решена сложная техническая задача по обеспечению температурных режимов термоэлектрических генераторных модулей, близких к максимально допустимым при эксплуатации. Это обеспечило повышение эффективности термоэлектрического преобразования и позволило достичь малых габаритных размеров и веса. Для решения данной задачи были проведены расчеты тепловых потоков от горелочного устройства, их перераспределение с учетом включения в тепловую систему ТГМ, оптимизированы конструкции теплообменников. Выполненные расчеты позволили выбрать оптимальные типы ТГМ для проведения экспериментов. В настоящее время промышленностью выпускается ряд стандартных термоэлектрических генераторных модулей, имеющих различное тепловое сопротивление и позволяющих создавать АИЭП с различными способами отведения тепла в окружающую среду. К наиболее распространенным относятся жидкостное и воздушное охлаждение. В случае жидкостного охлаждения необходим насос для прокачки рабочей жидкости и передачи тепла в ДВС или через внешний радиатор на нагрев салона. В случае воздушного охлаждения тепло отводится в окружающую среду за счет естественной конвекции или обдува вентилятором.

Отвод тепла с помощью жидкости представляется наиболее перспективным с точки зрения эффективности съема тепла [2]. Он и был применен в разработанном устройстве.

При выборе соответствующего типа модуля использована методика, представленная на сайте компании «Экоген» [7], позволяющая выбрать модуль исходя из способа отвода тепла с охлаждаемой стороны ТГМ. Тепловые сопротивления теплообменников (радиаторов) были рассчитаны с применением компьютерной программы KRYOTHERM, доступной для свободного скачивания в Интернете (подробно о расчете можно прочитать в [3, 4]).

Отечественной промышленностью выпускается конструктивный ряд ТГМ, различающихся габаритными размерами и числом термоэлектрических пар. Исторически и в силу технологических особенностей наибольшее распространение получили ТГМ с размерами 40×40 мм [5]. Внутри данного типоразмера был выбран генераторный модуль ТГМ-199-1,4-0,8 (рис. 1).

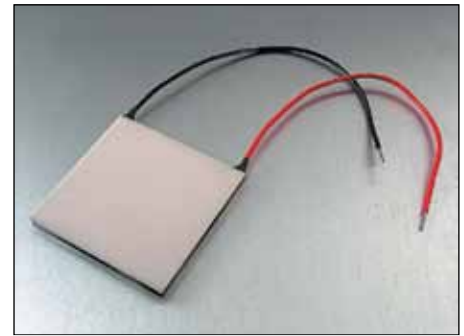


Рис. 1. Внешний вид термоэлектрического модуля ТГМ-199-1,4-0,8

Особенностями выбранного модуля являются:

- предельно малое тепловое сопротивление ТГМ $R_t = 0,57$ К/Вт обеспечивает встраивание АИЭП в конструкцию обогревателя без значительной переработки;
- большое число термопар обеспечивает большее значение термо-ЭДС по сравнению с обычными модулями и удвоенное значение удельной мощности, получаемой от модуля того же размера.

В качестве расчетной рабочей температуры горячей стороны генераторного модуля была выбрана температура +200 °С — максимальная рабочая температура для данного типа модулей.

Наиболее важные термоэлектрические параметры модуля приведены в таблице 2.

Вольт-амперная характеристика выбранного модуля приведена на рис. 2.

Таблица 2. Термоэлектрические параметры примененного модуля ТГМ ТГМ-199-1,4-0,8

Термоэлектрические параметры	Единицы измерения	Значение
Генерируемая мощность, P^* (при $T_h = 200$ °С, $T_c = 30$ °С)	Вт	11,4
I_{load}^*	А	2,80
U_{load}^*	В	4,10
R_{ac} (при 200 °С), ±10%	Ом	1,46
R_t^*	К/Вт	0,57

Примечания. *Значения приведены для сопротивления электрической нагрузки $R_{load} = R_{ac}$. R_{ac} — внутреннее сопротивление ТГМ при рабочей температуре. R_{load} — электрическое сопротивление нагрузки. R_t — тепловое сопротивление ТГМ.

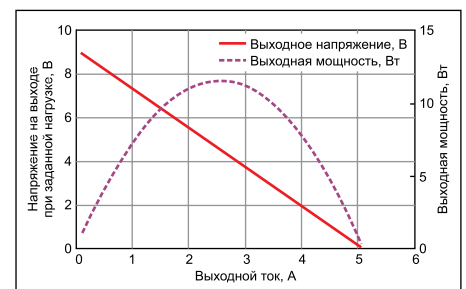


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика ТГМ-199-1,4-0,8

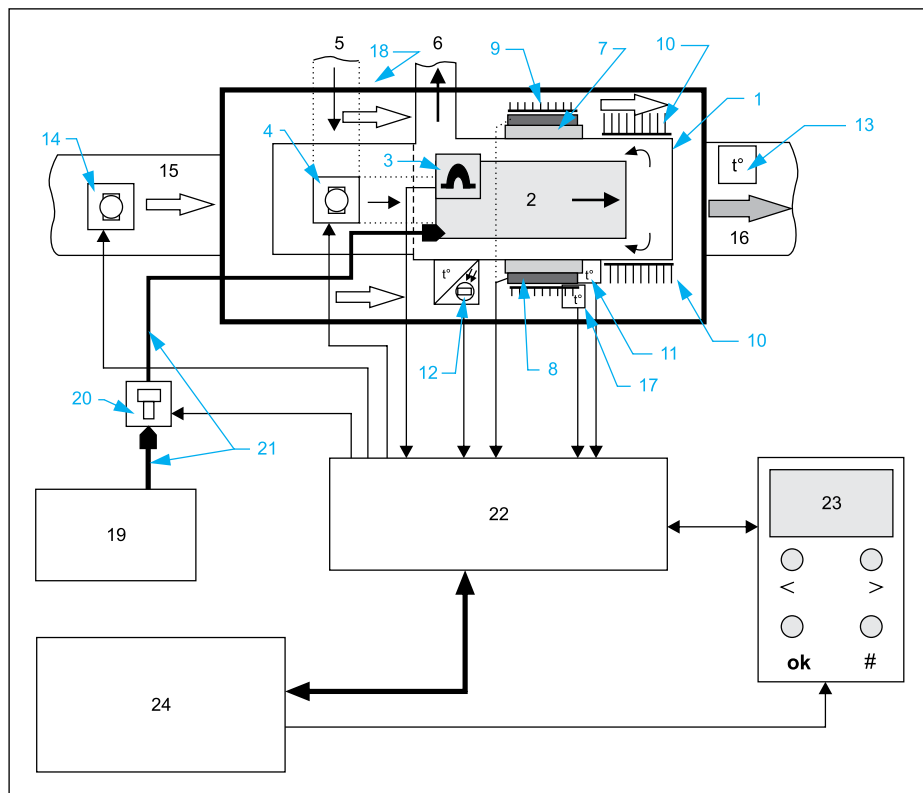


Рис. 3. Блок-схема автономного отопителя

В качестве расчетной номинальной генерируемой мощности прототипа был определен уровень 100 Вт в электрической нагрузке.

Блочно-автономный отопитель показан на рис. 3. Он содержит теплообменник (1), внутри которого расположена камера сгорания (2) со свечой зажигания/накаливания (3), нагнетатель воздуха (4), всасывающий патрубок (5), патрубок выхлопных газов (6). На поверхности цилиндрического теплообменника (1) размещены теплоотдающие секторы (7), на верхней поверхности которых установлены горячими спаями термогенераторные модули (8), на противоположной поверхности с холодными спаями термогенераторных модулей (8) установлены радиаторы охлаждения (9), на свободной поверхности теплообменника имеются штатные радиаторы теплообмена (10). Теплоотдающие секторы (7) снабжены датчиками температуры (11), а камера сгорания (2) оснащена датчиком горения (12). Температуру нагретого теплоносителя контролирует датчик температуры (13). Для жидкостного подогревателя предусмотрена электрическая помпа (14), а для воздушного отопителя — электровентиль, всасывающий патрубок (15) нагреваемой среды, патрубок вывода отработанной среды (16). Радиаторы охлаждения (9) снабжены датчиками температуры (17). Устройство заключено в корпус (18). Топливо из топливного бака (19) с помощью топливного насоса (20) подается по топливной магистрали (21) в камеру сгорания (2). Свеча зажигания

(3), выходы всех датчиков температур (11, 13, 17), датчика горения (12) связаны с электронным блоком управления (22), управляющим всем процессом с помощью пульта (23). При этом подзарядка аккумуляторной батареи (24) осуществляется также по программе электронного блока управления, один из выходов которого связан с топливным насосом, а другой — с помпой.

Каждый термогенераторный модуль (8) равномерно прижимается радиатором охлаждения (9) к теплоотдающему сектору (7), образуя сектор, усилие затяжки которого задается тарельчатой пружиной.

Применение двух датчиков температуры по горячей и холодной стороне ТГМ не допускает его перегрева, обеспечивает длительную безотказную работу АИЭП, обеспечивает оптимальную температуру охлаждаемой стороны термогенераторного модуля, подерживая его КПД максимальным.

Действует автономный отопитель следующим образом. Включение устройства и вывод его на рабочий режим происходит как и в известных устройствах, за счет электроэнергии аккумуляторной батареи (24), управляемой электронным блоком (22) через пульт управления (23). Сначала запускается нагнетатель воздуха (4): в случае жидкостного подогревателя — помпа теплоносителя, а для воздушного отопителя — электровентиль (14), затем включается топливный насос (20), который подает топливо из топливного бака (19) по топливной магистрали (21) в камеру сгорания (2), где первоначаль-

ный поджог топлива осуществляют с помощью свечи зажигания/свечи накаливания (3). Выключение свечи накаливания/зажигания (3) реализуют по команде с электронного блока управления (22) после установления устойчивого горения в камере сгорания (2), которое определяют по показаниям датчика горения (12). Регулирование требуемой температуры теплоносителя и температуры теплообменника для обеспечения оптимальной работы термогенераторных модулей (8) осуществляют с помощью электронного блока управления (22) на основании заданной пульту управления (23) температуры с учетом показаний датчиков температуры (13) нагреваемой среды, изменяя количество подаваемого топлива в камеру сгорания (2), количество нагнетаемого воздуха нагнетателем (4) и скорость прокачки теплоносителя через теплообменник (1) на основании показаний датчиков температуры (11). Датчик температуры (17) контролирует степень нагрева теплоотдающих секторов (7) и радиаторов охлаждения (9) ТГМ (8).

Разработаны универсальный блок и пульт управления, предназначенные для большинства типов различных по тепловой мощности отопителей. Внешний вид платы пульта управления, в том числе и в корпусе, блок-схема подключения показаны на рис. 4.

Пульт управления спроектирован для подключения к современной бортовой электронной сети управления ТС и имеет типовые шины управления LIN, CAN. Может управлять двумя отопителями одновременно, при установке на ТС и жидкостного подогревателя ДВС и воздушного отопителя салона.

С помощью электронного блока управления изначально рабочая температура была отрегулирована со значением в установившемся режиме +200 °С.

В процессе испытаний зафиксированы кратковременные повышения температуры на горячей стороне ТГМ (10–20 с) максимум до +210 °С, что не повлияло на параметры АИЭП. Возможность появления подобных так называемых выбегов определяется особенностями конструкции, величиной ее тепловой инерции в различных режимах запуска и остановки. При серийном выпуске величина выбега температуры будет уменьшена до 5 °С и обеспечена для различных режимов работы АИЭП (тепловой мощности горелки, скорости движения и температуры теплоносителя, температуры окружающей среды и др.), а также штатного или нештатного состояний генератора.

На сайте производителя ТГМ [8] указана эффективность термоэлектрического преобразования порядка 5%. В реальной термоэлектрической системе эффективность несколько меньше, с учетом дополнительных потерь в конструкции. Но, как следует из описания устройства автономного обогревателя, ТГМ стоят на пути тепла к рабочей

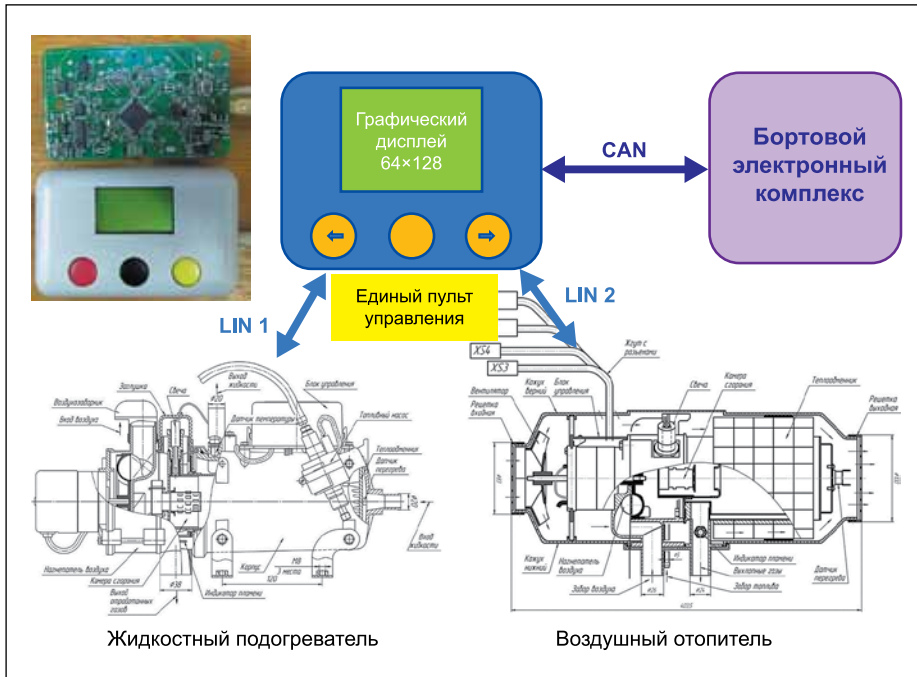


Рис. 4. Блок-схема автономного отопителя

жидкости и имеют малое тепловое сопротивление. До 5% теплового потока, проходящего через ТГМ, преобразуется в электрическую энергию, остальные 95% передаются для нагрева теплоносителя — таким образом, совокупная эффективность АИЭП в данной конструкции равна 100%. Этим не могут похвастаться другие системы автономного электропитания.

В ходе выполнения был разработан и изготовлен испытательный стенд и создана методика испытаний. Протестированы различные модификации автономного отопителя, оптимизирована конструкция АИЭП, проведены ресурсные испытания. В результате в качестве базового варианта выбран жидкостный автономный подогреватель 14ТС-10-24-С с номинальным напряжением питания 24 В и дизельным видом топлива. Подогреватель дооборудован АИЭП с двумя группами ТГМ. Каждая группа состоит из восьми ТГМ-199-1,4-0,8 НТ200.

Таблица 3. Результаты испытаний АИЭП

Параметр	Время от начала испытаний, мин		
	5	8	10
Ток в 1-й группе ТГМ, А	1,97	2,01	2,05
Напряжение в 1-й группе ТГМ, В	29,38	29,78	30,25
Мощность, отдаваемая в нагрузку, Вт	57,9	59,9	62
Ток во 2-й группе ТГМ, А	1,5	1,59	1,73
Напряжение во 2-й группе ТГМ, В	24,8	24,89	25,41
Мощность, отдаваемая в нагрузку, Вт	37,2	39,6	44
Суммарная электрическая мощность, Вт	95,1	99,5	106
Температура жидкости на входе, °С	30	40	44
Температура горячей стороны, °С	180	190	205

Электрическая схема соединения ТГМ последовательная, с суммарным внутренним сопротивлением 15 Ом для каждой группы ТГМ. При испытаниях использовалась внешняя нагрузка 15 Ом, согласованная с внутренним сопротивлением цепочки ТГМ.

Для измерения температуры на горячей стороне ТГМ в самой горячей точке теплообменника АИЭП была установлена термопара.

Стендовые испытания проводились в нормальных климатических условиях в соответствии с ГОСТ 352230-2004:

- в качестве охлаждающей жидкости использовалась вода;
- температура окружающего воздуха вблизи стенда составила +25 °С.

Результаты первых испытаний приведены в таблице 3.

В ходе испытаний отработаны режимы выхода на рабочую температуру и проведены циклы включения/выключения. Суммарная длительность испытаний 125 ч.

Далее испытания проводились с подключенным в качестве электрической нагрузки автономным подогревателем 14ТС-10-24-С, состоящим из электропотребляющих устройств. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4. Потребляемая мощность узлов автономного подогревателя

	Потребляемая мощность в различных режимах, Вт		
	малый	средний	полный
Помпа	28	28	28
Топливный насос	4	7	14
Нагнетатель воздуха	45	55	80
Всего	77	90	122

Запуск происходил от внешнего источника питания, через 5 мин АИЭП выходил на режим, источник питания отключался.

Второй этап испытаний доступен для просмотра на ресурсе Youtube, ссылка выложена на сайте ООО «Цирит Термо» [9].

Выводы

Проведенные испытания подтвердили правильность выбора концепции построения полностью автономного обогревателя ДВС. Задачи НИОКР выполнены. Испытан рабочий макет на стенде. Разработана методика проектирования. Достигнута устойчивая автономная работа отопителя на углеводородном топливе со встроенным генератором электроэнергии и временем работы, не зависящим от емкости аккумуляторной батареи и реализованным на базе модернизированного обогревателя 14ТС-10-24-С. Применены серийно выпускаемые отечественной промышленностью элементы конструкции, что позволило получить высокую степень локализации (свыше 90%).

Изделие готово к прохождению стадии опытного образца перед запуском в серию. Для завершения проекта необходимы инвестиции.

Литература

1. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956–1960.
2. Голдсмит Г. Применения термоэлектричества. Пер. с англ. под ред. А.Ф. Чудновского. М.: Физматгиз, 1963.
3. Кораблев В. А., Тахистов Ф. Ю., Шарков А. В. Прикладная физика. Термоэлектрические модули и устройства на их основе. Учебное пособие. Под ред. проф. А. В. Шаркова. СПб, СПбГИТМО (ТУ), 2003.
4. Охотин А. С., Ефремов А. А., Охотин В. С., Пушкарский А. С. Термоэлектрические генераторы. М.: Атомиздат, 1971.
5. Иорданишвили Е. К. Термоэлектрические источники питания. М.: Советское радио, 1968.
6. Шостаковский П. Г. Современные термоэлектрические источники питания электронных устройств // Компоненты и технологии. 2015. № 1.
7. www.ecogentech.ru
8. Шостаковский П. Г. Альтернативные источники электрической энергии промышленного применения // Control Engineering Russia. 2013. № 3.
9. www.cirit.ru/joomla/index.php/news/30-ispityaniya-avtonomnogo-podogrevatelya
10. Найман В. С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях. АСТ, Астрель, Хранитель, 2007.
11. Уткин А. Автономные обогреватели: Тепло и сухо // За рулем. 2010. № 2.
12. Отопители воздушные ПЛАНАР-4Д-12, ПЛАНАР-44Д-24. Руководство по эксплуатации АДВР.063.00.00.000 РЭ.
13. Подогреватели предпусковые дизельные 14ТС-10-24-С, 14ТС-10-12-С. Руководство по эксплуатации АДВР.177.00.00.000 РЭ.